

## 明 細 書

## 角速度センサおよびその製造方法

## 技術分野

[0001] 本発明は、薄膜積層構造を用いた角速度センサおよびその製造方法に関する。

## 背景技術

[0002] 図3は特許第3481235号公報に開示された従来の角速度センサ101の斜視図である。図4は図3に示す角速度センサ101の線4-4における断面図である。基板4は、互いに平行に図3に示すy方向に延びる一対のアーム部2a、2bと、アーム部2a、2bを連結する連結部3とを備えた音叉形状を有する。角速度センサ101は、図4に示すように、基板4のアーム部2a(2b)上に設けられた密着層5と、密着層5上に設けられた下部電極層6と、下部電極層6上に設けられた配向制御層7と、配向制御層7上に設けられた圧電体層8と、圧電体層8上に設けられた密着層9と、密着層9上に設けられた上部電極層10とをさらに備える。密着層5と下部電極層6と配向制御層7と圧電体層8と密着層9と上部電極層10とは積層体111を構成する。アーム部2a、2bは、上部電極層10に互いに逆相の交流電圧を印加することによりアーム部2a、2bの配列されている方向であるx方向に振動する。

[0003] 基板4は単結晶シリコン(Si)からなる。密着層5はチタンを含む。下部電極層6はTiまたはTiO<sub>x</sub>を含む白金(Pt)を含む。配向制御層7はランタンマグネシウム添加チタン酸鉛(PLMT)を含む。圧電体層8はジルコニウム酸チタン酸鉛(Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub>:PZT)からなる。

[0004] 基板4がSiで密着層5がTiとの組み合わせでは、SiとTiが積層体111を形成するときの高温で反応する。この反応によりSi原子が下部電極層6のPt、配向制御層7、圧電体層8のPZT内に拡散してそれぞれの層を変質させる。下部電極層6のPt、配向制御層7、もしくは圧電体層8のPZTにSiが拡散すると、圧電体層8であるPZTの結晶を結晶方位(001)面に優先配向させることができず、圧電体層8の特性は劣化する。したがって、角速度センサ101を小さくできず、また特性を安定化できない場合がある。

## 発明の開示

[0005] 基板は、互いに平行に延びる複数のアーム部と、複数のアーム部のそれぞれに一端を連結する連結部とを有する音叉形状の単結晶シリコンよりなる。角速度センサは、その基板のそれぞれの複数のアーム部上に設けられた酸化シリコンを含むバリア層と、バリア層上に設けられたチタンを含む第1の密着層と、第1の密着層上に設けられた、チタンと酸化チタンのうちの少なくとも1つと白金とを含む第1の電極層と、第1の電極層上に設けられた配向制御層と、配向制御層上に設けられた圧電体層と、圧電体層上に設けられた第2の密着層と、第2の密着層上に設けられた第2の電極層とを備える。

[0006] その角速度センサは小型で、安定したセンサ特性を有する。

## 図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は本発明の実施の形態における角速度センサの斜視図である。

[図2]図2は図1に示す角速度センサの線2-2における断面図である。

[図3]図3は従来の角速度センサ斜視図である。

[図4]図4は図3に示す角速度センサの線4-4における断面図である。

## 符号の説明

- [0008] 1 角速度センサ  
2a アーム部  
2b アーム部  
3 連結部  
4 基板  
5 密着層(第1の密着層)  
6 下部電極層(第1の電極層)  
7 配向制御層  
8 圧電体層  
9 密着層(第2の密着層)  
10 上部電極層(第2の電極層)  
11 積層体

## 12 バリア層

## 発明を実施するための最良の形態

- [0009] 図1は本発明の実施の形態における角速度センサ1の斜視図であり、図2は、実施の形態における角速度センサ1の薄膜積層構造を示す模式図である。基板4は、y方向に延びるアーム2a、2bと、アーム2a、2bを連結する連結部3とを備え音叉形状を有する。角速度センサ1は、基板4のアーム部2a(2b)上に設けられたバリア層12と、バリア層12上に設けられた密着層5と、密着層5上に設けられた下部電極層6と、下部電極層6上に設けられた配向制御層7と、配向制御層7上に設けられた圧電体層8と、圧電体層8上に設けられた密着層9と、密着層9上に設けられた上部電極層10とをさらに備える。バリア層12と密着層5と下部電極層6と配向制御層7と圧電体層8と密着層9と上部電極層10とは積層体11を構成する。積層体11は、アーム部2a、2bは、上部電極層10のうちの駆動電極10Aに互いに逆相の交流電圧を印加することによりアーム部2a、2bの配列されている方向であるx方向に振動する。
- [0010] 基板4は単結晶シリコン(Si)よりなる。バリア層12は二酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )よりなり、基板4を酸素中、もしくは水蒸気中で700℃以上に加熱して熱酸化させることで容易に形成できる。バリア層12の厚さは20nm〜300nmである。
- [0011] バリア層12上の密着層5はチタン(Ti)よりなる。下部電極層6は酸化チタン( $\text{TiO}_x$ )を含む白金(Pt)よりなる。Ptは電導度が高く高温酸化雰囲気での安定性が優れている。密着層5の厚さは50nm以下であり、下部電極層6の厚さは500nm以下である。
- [0012] 配向制御層7は、チタン酸鉛( $\text{PbTiO}_3$ )を基本材料として、それにランタン(La)とマグネシウム(Mg)を添加したランタンマグネシウム添加チタン酸鉛(PLMT)よりなり、厚さは200nm以下である。圧電体層8はジルコニウム酸チタン酸鉛( $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ :PZT)よりなり、ペロブスカイト構造を有して厚さは1000nm〜4000nmである。配向制御層7は、下部電極層6を構成するPtの結晶と、圧電体層8のPZTの結晶との格子定数の差による影響を緩和する。
- [0013] 駆動電極10Aと下部電極層6との間に交流電圧を印加することによって積層体11に圧電変位が生じ、アーム部2a、2bがx方向に振動する。振動時に角速度が加わる

と、圧電層8にコリオリ力によって歪む。この歪により検出電極10Bに電荷が発生し、電荷によりその歪みの大きさを検出できる。

- [0014] 圧電体層8はPZTによりなるので、積層体11が発生する圧電変位を大きくできる。基板4はSiよりなるので、圧電体層8が発生する圧電変位によって振動する減衰の少ない共振先鋭度(Q値)の高い理想的な弾性体のアーム部2a、2bを形成でき、感度等のセンサ特性の安定性が良好な小型の角速度センサ1が得られる。
- [0015] 基板4と密着層5との間に形成されたシリコン酸化( $\text{SiO}_2$ )膜からなるバリア層12により、基板4のSi原子が下部電極層6のPtおよび配向制御層7、圧電体層8のPZT内に拡散し、変質させることを抑止できる。これにより、圧電体層8を結晶方位(001)面に優先配向させることができるので、圧電体層8の結晶化されている割合が増加し、かつ結晶方向をそろえて結晶性を良くすることができる。結果として、圧電体層8の圧電定数を増加させ、かつ圧電層8に印加される電圧に対する圧電定数の変動が小さくなり、小さくても性能の高い圧電体層8を形成でき、角速度センサ1は小型化できセンサ特性の安定化を実現できる。
- [0016] 実施の形態による角速度センサ1では、積層体11の各層間を強固に密着できる。Siを含む基板4と $\text{SiO}_2$ を含むバリア層12とTiを含む密着層5において、 $\text{SiO}_2$ とTiとはTiの強い酸素親和力により界面での結合性が高い。したがって、角速度センサ1の基板4上に設けた積層体11は基板4と強固に密着する。密着層5(Ti)と下部電極層6(TiとPtの合金、もしくは $\text{TiO}_x$ とPtの合金)とは金属結合する。したがって、基板4から下部電極層6までの各層の界面での剥離を抑止でき、製造歩留まりが向上し角速度センサ1の信頼性を高める。圧電体層8と上部電極層10との間の密着層9は、圧電体層8と上部電極層10と相互に強固に密着する。
- [0017] 密着層9は、上部電極層10と圧電層8との密着性が確保でき、かつ圧電層8や上部電極層10に拡散して変質させない材料、例えば、密着層5と同じチタン、クロム等の酸素親和力の強い金属、もしくは導電性金属酸化物系の材料よりなる。密着層9の厚みは5nm〜50nm程度である。上部電極層10と圧電層8との密着性が確保でき、かつ圧電層8や上部電極層10に拡散して変質させない限り、密着層9の材質や厚さは上記に限定されない。

- [0018] 実施の形態の角速度センサ1では、PZTよりなる圧電体層8の結晶方向がよくそろっており、大きな圧電変位を得ることができる。正方晶系PZTにおいては、分極軸の方向が(001)方向であり、分極されたPZT薄圧電体として駆動させる場合の特性(圧電特性)は、駆動電界の方向と分極方向が平行である場合がもっとも大きくなる。つまり、駆動電界の方向がPZTの結晶方位の(001)方向であることが重要となる。(001)方向に駆動電界を印加するためには、圧電体層8はPZTの(001)方向と基板4に直角な軸とが平行であるような優先配向を有する、すなわち、圧電体層8表面が(001)面であるようなPZTによる層を形成することが必要である。
- [0019] Tiまたは $\text{TiO}_x$ を含むPtよりなる下部電極層6と圧電体層8との間に設けられた配向制御層7とにより、圧電体層8の表面を(001)面にできる。下部電極層6は高温プロセスを有するスパッタ法により形成できる。その際に使用するガスがアルゴンガスのみの場合には、下部電極層6の表面部のTiは酸化されないが、アルゴンと酸素の混合ガスを用いた場合には、そのTiが酸化して $\text{TiO}_x$ となる。その高温プロセスにおいて、PtはTiの結晶粒界の中を拡散し、TiはPtの結晶粒界の中を拡散し(相互拡散)、さらにTi( $\text{TiO}_x$ )は、Ptの結晶粒界に沿って外部へ拡散する(外部拡散)。Ti( $\text{TiO}_x$ )の外部拡散によりペロブスカイト構造のPZT薄膜の形成は促進し、圧電体層8であるPZT薄膜の表面が(001)面に優先配向させる。
- [0020] 下部電極層6と圧電体層8との間に設けられた配向制御層7について説明する。一般に、基板4上に薄膜を形成する際の各層の結晶成長においては、ある層の結晶の格子定数とその上に成長する薄膜の結晶の格子定数とが一致(格子整合)することが良い。格子定数とは単結晶を構成する原子どうしの距離を表したものである。格子定数は物質固有のものであり、Ptの結晶とPZTの結晶とは格子定数が異なる(PZTの格子定数は0.401nm、Ptの格子定数は0.3921nm)。下部電極層6を構成するPtの結晶と圧電体層8を構成するPZTの結晶との格子不整合を緩和するために、PLMTによる配向制御層7が設けられる。
- [0021] 密着層5の表面部にはTiまたは $\text{TiO}_x$ が島状に点在しており、配向制御層7は、この島状に点在するTiまたは $\text{TiO}_x$ を核にしてその上側に結晶成長する。したがって、密着層5が(111)面配向であったとしても、配向制御層7は(001)面に配向し易くなる

。立方晶系の場合は(100)面と(001)面とは同じである。これにより、配向制御層7はTiまたはTiO<sub>x</sub> 上において(100)面又は(001)面に配向し易くなる。

[0022] TiまたはTiO<sub>x</sub> は密着層5に含有されているので密着層5の表面からは殆ど突出していない(突出したとしてもその突出量は2nmよりも小さくなる)。このことから、配向制御層7は(100)面又は(001)面に配向し易くなる。

[0023] 密着層5は、Siの基板4を用いる場合には、通常(111)面配向になっている。このため、配向制御層7において、密着層5の表面部におけるTiまたはTiO<sub>x</sub> が存在しない部分の上側領域では、(100)面及び(001)面以外の面配向(例えば(111)面配向)またはアモルファスになる。しかし、(100)面や(001)面配向になっていないこのような領域は、配向制御層7における密着層5側の表面近傍(当該表面から20nm程度までの範囲)にしか存在しない。つまり、TiまたはTiO<sub>x</sub> 上の(100)面又は(001)面配向の領域がその結晶成長に連れて広がるので、層の厚さ方向と直角な断面におけるその領域の面積が、密着層5からその反対側(圧電体層8側)に向かって大きくなる。これにより、(100)面や(001)面配向になっていない領域は小さくなって、配向制御層7の厚みが20nm程度となった段階では配向制御層7はほぼ全体が(100)面又は(001)面配向の領域となる。

[0024] こうして形成した配向制御層7上に圧電体層8を形成することにより、配向制御層7により圧電体層8は(001)面配向となる。ただし、菱面体晶系の場合には、(100)面と(001)面とは同じであるため、この菱面体晶系の(100)面配向を含む。このような配向制御層7により、圧電体層8には感度等の圧電特性が良好な圧電材料を使用しつつ、配向制御層7には結晶の配向方向のそろえることのできる材料を使用できる。この結果、圧電体層8の80%以上の領域を(001)面配向にできる。

[0025] 配向制御層7において(100)面や(001)面に配向していない領域は、密着層5側の表面近傍だけでなく圧電体層8側の表面に存在していてもよい。このような場合であっても、配向制御層7の厚さが0.01 μm以上であれば、配向制御層7の圧電体層8側の表面の大部分は(100)面又は(001)面配向となり、圧電体層8の90%以上の領域を(001)面に配向させることができる。

[0026] 実施の形態においては、配向制御層7は結晶を(001)面に配向させるためのもの

であり、そのために少なくともPbとTiとを含む酸化物誘電体であって、Laを含み、鉛の含有量が化学量論組成よりも過剰なランタン添加チタン酸鉛(PLT)でよい。圧電体層8の結晶の配向を揃えるためには、配向制御層7のPLTにおけるLaの含有量は0を越え25モル%以下でよく、鉛の含有量は化学量論組成より0を超え30モル%以下過剰であればよい。配向制御層7を構成する材料は、PLMTに限らず、PLTにジルコニウムを含有したランタンジルコニウム添加チタン酸鉛(PLZT)でもよく、PLTやPLZTにマグネシウム及びマンガンの少なくとも一方を添加したものでもよい。配向制御層7でのPLZTにおけるジルコニウムの含有量は20モル%以下であることが好ましい。また、配向制御層7のマグネシウム及びマンガンの少なくとも一方が添加されたPLTやPLZTでは、マグネシウム及びマンガンのトータルの添加量は0を越え10モル%以下であることが好ましい。

[0027] 以上のように、下部電極層6にTiまたはTiO<sub>x</sub>を含む白金を用い、下部電極層6と圧電体層8との間に設けられた配向制御層7により、表面が(001)面である圧電体層8(PZT薄膜)を形成できる。したがって、圧電体層8の結晶の配向を揃え、かつ大きな圧電変位を得ることができる。

[0028] PZTによる圧電体層8の表面を(001)面にでき、圧電体層8の結晶の配向を揃えることにより小面積でも感度を高くできるので、角速度センサ1を小さく感度等のセンサ特性の安定にできる。さらに、基板4から下部電極層6までの各層の界面剥離を抑止し、特に、基板4と密着層5との密着性を高め、角速度センサ1の信頼性を高めることができる。

[0029] なお、インクジェットヘッドなどの角速度センサ以外の圧電体を用いた電子部品において、Si基板(インクジェットヘッドにおいては圧力室基板)にSiO<sub>2</sub>により形成した振動層が設けられることがある。この振動層とは、実施の形態によるSiO<sub>2</sub>で形成したバリア層12とは用途・作用が根本的に異なる。インクジェットヘッドにおける振動層は圧力室基板に充填したインクを圧力室外に放出するために振動するものであり、0.5〜10 $\mu$ m程度の厚さを必要とする。実施の形態におけるバリア層12は、上述のように、各層の密着性を高め、圧電体層8の結晶の配向を揃えるためのものであり、インクジェットにおける振動層と同程度の厚みを有すると、角速度センサ1としての特性に

悪影響を与える。SiとSiO<sub>2</sub>とはヤング率が異なるので、SiO<sub>2</sub>によるバリア層12が厚いとアーム部2a, 2bのヤング率を不均一にする。この結果、アーム部2a, 2bが振動する際にそれぞれの振動に歪を生じる。

[0030] 次に角速度センサ1の製造方法について説明する。

[0031] 単結晶シリコンを用いた基板4の表面を酸化させてバリア層12を形成する。次にバリア層12層上に少なくともチタンからなる密着層5をスパッタ法で形成する。そして、密着層5上に少なくともチタンもしくは酸化チタンを含む白金からなる下部電極層6をスパッタ法で形成する。次に下部電極層6上に配向制御層7をスパッタ法で形成する。その後配向制御層7上に圧電体層8をスパッタ法で形成する。次に圧電体層8上に密着層9をスパッタ法もしくは真空蒸着法を用いて形成する。その後、密着層9上に上部電極層10をスパッタ法もしくは真空蒸着法で形成する。配向制御層7はPLMT等の、少なくともPbとTiとを含む酸化物誘電体よりなる。また、圧電体層8はペロブスカイト構造を有するPZTよりなる。

[0032] 上記の方法により、化学気相蒸着を用いた方法より簡便に積層体11を製造できる。単結晶シリコン基板を熱酸化させて酸化シリコンによるバリア層12を形成することが好ましい。バリア層12は、熱酸化に限られず、スパッタ法、熱CVD法、プラズマCVD法、ゾル・ゲル法等により形成してもよい。

[0033] なお、積層体11は音叉形状に形成された基板4上に設けてもよいし、積層体11を単結晶シリコンウエハ上に設けた後にそのウエハを音叉形状に形成して基板4を得てもよい。

#### 産業上の利用可能性

[0034] 本発明による角速度センサは、小面積で感度等の圧電体特性がよい。



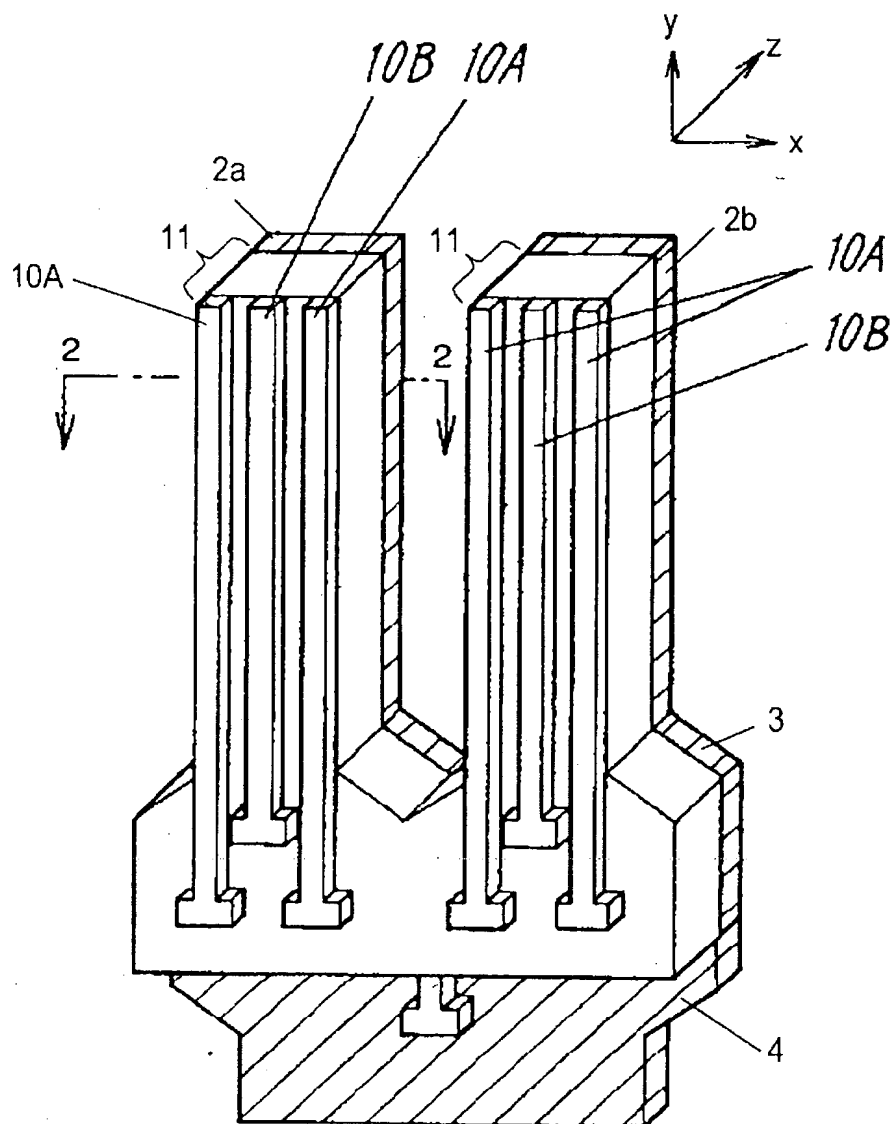
## 請求の範囲

- [1] 互いに平行に延びる複数のアーム部と、前記複数のアーム部のそれぞれの一端を連結する連結部とを有する音叉形状の単結晶シリコンよりなる基板と、  
前記基板のそれぞれの前記複数のアーム部上に設けられた酸化シリコンを含むバリア層と、  
前記バリア層上に設けられたチタンを含む第1の密着層と、  
前記第1の密着層上に設けられた、チタンと酸化チタンのうちの少なくとも1つと白金とを含む第1の電極層と、  
前記第1の電極層上に設けられた配向制御層と、  
前記配向制御層上に設けられた圧電体層と、  
前記圧電体層上に設けられた第2の密着層と、  
前記第2の密着層上に設けられた第2の電極層と、  
を備えた角速度センサ。
- [2] 前記配向制御層はPbとTiとを含む酸化物誘電体よりなる、請求項1に記載の角速度センサ。
- [3] 前記配向制御層はLaおよびMgのうち少なくとも一つを含むチタン酸鉛からなる、請求項1に記載の角速度センサ。
- [4] 前記圧電体層はジルコニウム酸チタン酸鉛よりなる、請求項1に記載の角速度センサ。
- [5] 互いに平行に延びる複数のアーム部と、前記複数のアーム部のそれぞれの一端を連結する連結部とを有する音叉形状となる単結晶シリコンの基板を準備するステップと、  
前記基板の前記複数のアーム部の表面をそれぞれ酸化させて酸化シリコンを含むバリア層を形成するステップと、  
前記バリア層上にチタンを含む第1の密着層をスパッタ法で形成するステップと、  
前記第1の密着層上にチタンと酸化チタンのうちの少なくとも1つと白金とを含む第1の電極層をスパッタ法で形成するステップと、  
前記第1の電極層上に配向制御層をスパッタ法で形成するステップと、

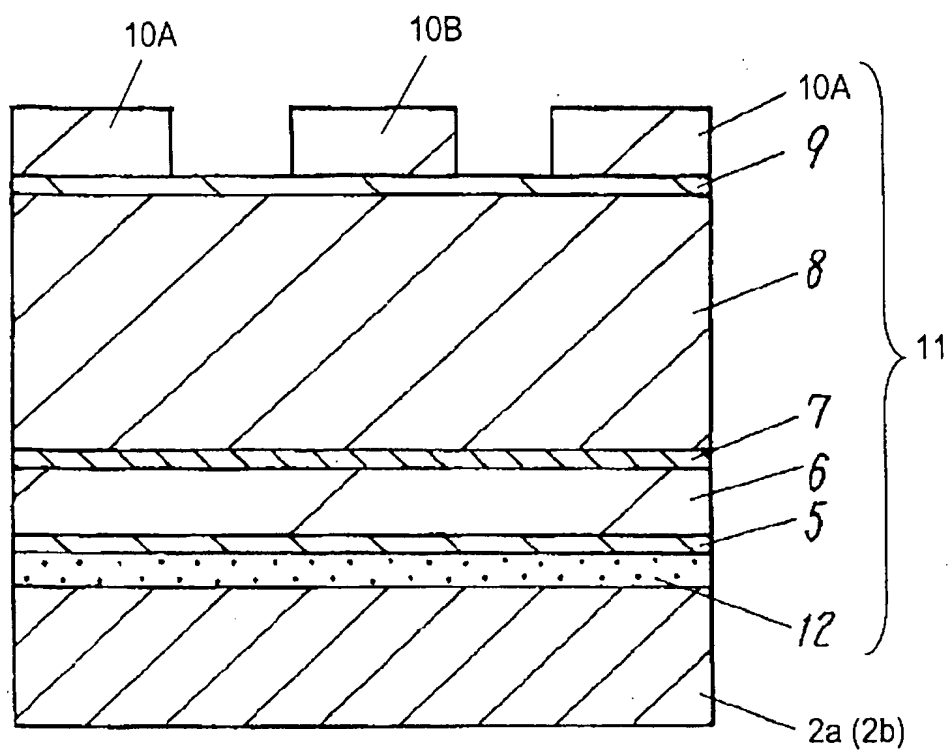
前記配向制御層上に圧電体層をスパッタ法で形成するステップと、  
前記圧電体層上に第2の密着層をスパッタ法または真空蒸着法を用いて形成するステップと、  
前記第2の密着層上に第2の電極層をスパッタ法または真空蒸着法で形成するステップと、  
を含む、角速度センサの製造方法。

- [6] 前記バリア層を形成するステップは、前記基板の表面を熱酸化させるステップを含む、請求項5に記載の角速度センサの製造方法。
- [7] 前記配向制御層はPbとTiとを含む酸化物誘電体よりなる、請求項5に記載の角速度センサの製造方法。
- [8] 前記配向制御層はLaおよびMgのうち少なくとも一つを含むチタン酸鉛よりなる、請求項5に記載の角速度センサの製造方法。
- [9] 前記圧電体層はジルコニウム酸チタン酸鉛よりなる、請求項5に記載の角速度センサの製造方法。

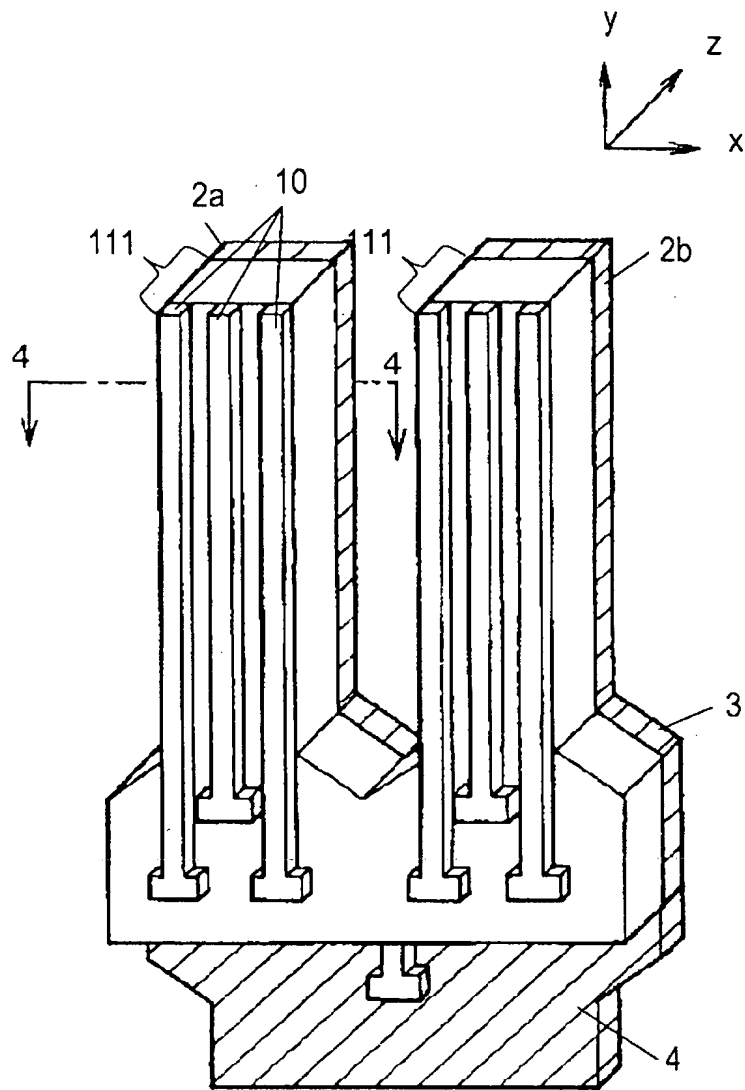
[図1]



[図2]



[図3]



[図4]

